

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K00028

研究課題名(和文) 組合せ最適化理論を用いたネットワーク解析手法の設計

研究課題名(英文) Designing Algorithms for Network Analysis with Combinatorial Optimization Theory

研究代表者

垣村 尚徳 (Kakimura, Naonori)

慶應義塾大学・理工学部(矢上)・准教授

研究者番号：30508180

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、大規模ネットワーク解析に応用できるさまざまな組合せ最適化モデルの提案と、提案モデルに対する理論保証付きアルゴリズムの設計に取り組んだ。特に、制約付き劣モジュラ関数最大化問題に対するストリーミングアルゴリズムの開発と計算限界の解析、および、ネットワークのコミュニティ検出問題に対する新しい最適化モデルの提案を行なった。これらの問題は、ネットワーク上の知識発見の問題においてその重要性が認識されている汎用的な組合せ最適化問題である。本研究の成果は理論計算機科学分野やデータマイニング分野における査読付き国際会議および査読付き論文誌に採択された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、組合せ最適化手法を用いて、ネットワークを解析するための汎用的なモデルと効率的な計算手法を確立することを目指した。研究成果は、ネットワーク解析という実用に現れる問題に対して、組合せ最適化という理論的な手法を用いてアプローチするものであり、理論と実用の両面からの有用性が期待される。近年、機械学習や人工知能など情報科学分野ではアルゴリズムの理論的な性質を保証することが重要となっており、組合せ最適化理論を用いた本研究のアプローチは国際的な研究動向に沿った研究成果と言える。また、フランス、アメリカ、ハンガリーなどの研究者と連携し研究を行なうことで、国際的な研究ネットワークを構築した。

研究成果の概要(英文)：In this project, we proposed combinatorial optimization models for large-scale network analysis, and designed efficient algorithms with theoretical guarantees for the proposed models. In particular, we investigated the computational complexity and approximability of streaming algorithms for the problem of maximizing submodular functions with some constraints, and proposed new optimization models for the community detection problem in networks. These problems are general optimization problems that have been studied widely in theory and practice. Our results have been presented in refereed conferences in theoretical computer science and data mining, and published in international refereed journals.

研究分野：数理最適化

キーワード：組合せ最適化 アルゴリズム 近似アルゴリズム ストリーミング計算 離散構造 劣モジュラ関数

## 1. 研究開始当初の背景

ネットワークは対象同士のつながりをあらかず離散的な構造であり、ウェブページのリンク関係(ウェブネットワーク)や友人関係のネットワーク(ソーシャルネットワーク)など、実社会の身近なところにも現れる。ネットワークの構造を解析することは対象の相互の関連を知ることにつながるため、物理学・計算機科学などの分野で幅広く研究されている。近年の情報通信技術の発達により、対象となるネットワークは大規模で複雑なものになっており、その解析のためには大規模なネットワーク特有の課題を克服する必要がある。たとえば、複雑なネットワークの解析のための精緻な数理モデルを行なうことや、計算機のメモリに収まりきらないくらい大規模なネットワークを解析するための計算手法(ストリーミングアルゴリズム)を設計することなどが求められている。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、組合せ最適化理論を用いてネットワークに内在する有用な構造や知識を発見するための高速かつ高精度な計算手法を提案することを目的とする。組合せ最適化はネットワークなどの離散的な構造の上で最も良いものを見つけるための方法論である。組合せ最適化の視点から、より現実的であり、かつ、効率的計算が可能である精緻な数理モデルを提案する。そして、計算時間や解の精度が理論的に保証された計算手法を提案し、大規模なネットワークでの構造検出に役立てることを目指す。

## 3. 研究の方法

ネットワーク上の構造検出・知識発見の問題に対して、組合せ最適化の視点からのモデル化を提案し、理論保証を持つ効率的なアルゴリズムを設計する。具体的には、主に、超大規模ネットワークの解析に向けたストリーミングアルゴリズムの設計、ネットワーク上のコミュニティ検出のための数理モデルの精緻化と計算量の解析を行い、実ネットワークの解析に役立てる。さらに、関連した組合せ最適化理論の課題に取り組み、ネットワークの構造検出のための組合せ最適化理論の基盤を作る。そのために、申請者が持つ組合せ最適化技法やグラフ理論の知見を活かすだけでなく、ネットワーク分析やアルゴリズム理論を専門とする国内外の研究者と連携し、お互いの専門分野を融合し研究に取り組む。

## 4. 研究成果

### (1) 大規模ネットワークの解析のためのストリーミング計算アルゴリズム

大規模なネットワークを解析するために、制約付き劣モジュラ関数最大化問題に対する省メモリのアルゴリズムの設計に取り組んだ。劣モジュラ関数を最大化する問題は、ネットワーク上の知識発見の問題においてその重要性が認識されており、文書要約やクラスタリングなどにも応用を持つ一般的な組合せ最適化問題である。これらの応用では近年、計算機の上で扱うデータのサイズが大規模になっており、データを全てメモリに載せることなく計算するストリーミングアルゴリズムが実用的に有用なアルゴリズムとして研究されている。

この問題に対して以下の成果を得た。これらは、フランスのパリ高等師範学校(École normale supérieure, Paris)の Chien-Chung Huang 氏の研究グループおよび国立情報学研究所 吉田悠一氏との共同研究である。

#### 単一パスストリーミング計算アルゴリズム

本研究では、ナップサック制約という一般的な制約のもとで劣モジュラ関数を最大化する問題に対して、ストリーミング近似アルゴリズムを設計した。このアルゴリズムは各データを一度しか見ずに解を計算するものであり、メモリ効率が高くデータが大規模な場合に有用である。我々は、提案アルゴリズムが最適値の 0.363 倍以上の近似保証を持つ解を計算できることを示した。この成果は近似アルゴリズムに関する査読付き国際会議 APPROX 2017 に採択され、アルゴリズム分野の権威ある査読付き国際論文誌 Algorithmica に掲載された。その後さらに研究を進めることで、計算時間の効率性を保ったまま、その近似比を 0.363 から 0.4 に改良することに成功した。この成果はアルゴリズムとデータ構造に関する査読付き国際会議 WADS2019 に採択され口頭発表をおこなった。さらに査読付き国際論文誌 Algorithmica の WADS 特集号に招待され掲載された。

### マルチパスストリーミング計算アルゴリズム

制約付き劣モジュラ関数最大化問題に対して、入力データを定数回しか見ずに効率的に近似解を計算するストリーミング近似アルゴリズムを設計した。提案アルゴリズムはメモリ効率が高くデータが大規模な場合に有用である。まず、サイズ制約付きの問題に対して理論的に最適な近似比率を達成するアルゴリズムを提案した。この手法では先行研究よりもデータを見る回数が抑えられる。さらに、ナップサック制約付きの問題について初めて非自明な近似比解析を与えた。これらの成果は理論計算機科学分野の査読付き国際論文誌 Theory of Computing Systems に採択された。

### ストリーミング計算における近似不可能性

サイズ制約付き劣モジュラ関数最大化問題のストリーミング計算に対して近似不可能性と空間複雑度との関係の解明に取り組んだ。サイズ制約付き劣モジュラ関数最大化問題は  $1-1/e$  近似よりよい近似が不可能であることが知られているが、本研究では、入力データがストリームとして与えられメモリが制限されている状況において、 $0.585$  近似よりよい近似比を達成するアルゴリズムが存在しないことを示した。この成果は離散数学に関する査読付き論文誌 SIAM Journal on Discrete Mathematics に採択された。

## (2) コミュニティ検出問題

コミュニティ検出問題とはネットワークの中から同じ性質や構造を持つ部分集合を検出する問題であり、グラフマイニングにおける基本的な問題のひとつである。本研究課題では、より実用的な状況下で所望のコミュニティを検出するための数理モデルの精緻化と効率的アルゴリズムの開発を行なった。具体的には以下の成果を得た。

### 外とのつながりを考慮したコミュニティ検出モデル

本研究課題では、コミュニティがその内部では密なつながりを持つが外へのつながりが薄いという性質を持つことに着目し、ネットワークのコミュニティを検出するための新しい最適化モデルを提案した。提案モデルは、最密グラフ問題と呼ばれる組合せ最適化問題の拡張であり、モジュラリティ密度最大化問題とも関連が深い。本研究ではまず、提案モデルが多項式時間で計算可能であることを線形計画緩和を用いて示した。さらに、大規模ネットワークに適用できる、ほぼ線形時間の貪欲近似アルゴリズムを提案した。データセットを用いた計算機実験により、提案アルゴリズムが効果的にコミュニティを検出できることを確認した。この成果は機械学習・知識発見分野の査読付き国際会議である CIKM2018 に採択された。この成果はイタリア CENTAI Institute の宮内 敦史氏との共同研究である。

### 不確実性を考慮したコミュニティ検出

不確実性を有するグラフに対する最密グラフ問題に対する効率的なアルゴリズムを設計した。最密グラフ問題はネットワーク内のコミュニティを検出するための組合せ最適化モデルであり、多項式時間で計算が可能である。本成果では、不確実性をもつグラフに対する最密グラフ問題が NP 困難であることを示した。そして、負の辺重みをもつ最密グラフ問題に帰着することで、高速なヒューリスティクスを提案した。また、データセットを用いた計算機実験により提案アルゴリズムの有効性を確認することができた。本成果は、ボストン大学の Charalampos Tsourakakis 氏とその学生との共同研究であり、ECML-PKDD2019 という機械学習・知識発見分野の査読付き国際会議に採択された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計27件（うち査読付論文 27件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Chien-Chung Huang, Naonori Kakimura, Simon Mauras, Yuichi Yoshida	4. 巻 36
2. 論文標題 Approximability of Monotone Submodular Function Maximization under Cardinality and Matroid Constraints in the Streaming Model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Discrete Mathematics	6. 最初と最後の頁 355 ~ 382
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/20M1357317	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kristof Berczi, Naonori Kakimura, Yusuke Kobayashi	4. 巻 35
2. 論文標題 Market Pricing for Matroid Rank Valuations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Discrete Mathematics	6. 最初と最後の頁 2662 ~ 2678
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/20M1386335	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Chien-Chung Huang, Naonori Kakimura	4. 巻 66
2. 論文標題 Multi-Pass Streaming Algorithms for Monotone Submodular Function Maximization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Theory of Computing Systems	6. 最初と最後の頁 354 ~ 394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00224-021-10065-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Naonori Kakimura, Donghao Zhu	4. 巻 --
2. 論文標題 Dynamic Bipartite Matching Market with Arrivals and Departures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The 17th Conference on Web and Internet Economics (WINE 2021)	6. 最初と最後の頁 544
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hanna Sumita, Shinji Ito, Kei Takemura, Daisuke Hatano, Takuro Fukunaga, Naonori Kakimura, Ken-ichi Kawarabayashi	4. 巻 --
2. 論文標題 Online Task Assignment Problems with Reusable Resources	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The 36th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI)	6. 最初と最後の頁 5199 ~ 5207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takehiro Ito, Yuni Iwamasa, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto and Kenta Ozeki	4. 巻 --
2. 論文標題 Reforming an Envy-Free Matching	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The 36th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI)	6. 最初と最後の頁 5084 ~ 5091
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takehiro Ito, Yuni Iwamasa, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Shun-ichi Maezawa, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto, Kenta Ozeki	4. 巻 --
2. 論文標題 Monotone Edge Flips to an Orientation of Maximum Edge-connectivity $\forall a$ la Nash-Williams	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms(SODA)	6. 最初と最後の頁 1342 ~ 1355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Charles Carlson, Karthekeyan Chandrasekaran, Hsien-Chih Chang, Naonori Kakimura, and Alexandra Kolla	4. 巻 37
2. 論文標題 Spectral Aspects of Symmetric Matrix Signings	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Discrete Optimization	6. 最初と最後の頁 100582 ~ 100582
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.disopt.2020.100582	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Takehiro Ito, Naonori Kakimura, and Yusuke Kobayashi	4. 巻 842
2. 論文標題 Complexity of the Multi-Service Center Problem	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 18 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2020.07.021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chien-Chung Huang and Naonori Kakimura	4. 巻 83
2. 論文標題 Improved Streaming Algorithms for Maximizing Monotone Submodular Functions under a Knapsack Constraint	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Algorithmica	6. 最初と最後の頁 879 ~ 902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00453-020-00786-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, and Yoshio Okamoto	4. 巻 44
2. 論文標題 Submodular Reassignment Problem for Reallocating Agents to Tasks with Synergy Effects	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Discrete Optimization	6. 最初と最後の頁 100631 ~ 100631
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.disopt.2021.100631	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kristof Berczi, Naonori Kakimura, and Yusuke Kobayashi	4. 巻 39
2. 論文標題 Market Pricing for Matroid Rank Valuations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The 31st International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2020)	6. 最初と最後の頁 1 ~ 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.ISAAC.2020.39	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Chien-Chung Huang and Naonori Kakimura	4. 巻 11646
2. 論文標題 Improved Streaming Algorithms for Maximizing Monotone Submodular Functions under a Knapsack Constraint	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Algorithms and Data Structures Symposium (WADS), LNCS	6. 最初と最後の頁 438-451
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-24766-9_32	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Charalampos E. Tsourakakis, Tianyi Chen, Naonori Kakimura, and Jakub Pachocki	4. 巻 -
2. 論文標題 Novel Dense Subgraph Discovery Primitives: Risk Aversion and Exclusion Queries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases (ECML-PKDD 2019)	6. 最初と最後の頁 378-394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Charlie Carlson, Karthekeyan Chandrasekaran, Hsien-Chih Chang, Naonori Kakimura and Alexandra Kolla	4. 巻 81
2. 論文標題 Spectral Aspects of Symmetric Matrix Signings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The 44th International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science (MFCS 2019), LIPIcs	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takehiro Ito, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Yoshio Okamoto	4. 巻 61
2. 論文標題 Shortest Reconfiguration of Perfect Matchings via Alternating Cycles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The 27th Annual European Symposium on Algorithms (ESA 2019), LIPIcs	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Chien-Chung Huang, Naonori Kakimura, and Yuichi Yoshida	4. 巻 82
2. 論文標題 Streaming Algorithms for Maximizing Monotone Submodular Functions under a Knapsack Constraint	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Algorithmica	6. 最初と最後の頁 1006-1032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00453-019-00628-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama and Kenjiro Takazawa	4. 巻 283
2. 論文標題 The b-branching problem in digraphs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Discrete Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 565-576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dam.2020.02.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takehiro Ito, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, and Yoshio Okamoto	4. 巻 37
2. 論文標題 Reconfiguration of maximum-weight b-matchings in a graph	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Combinatorial Optimization	6. 最初と最後の頁 454 ~ 464
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10878-018-0289-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chen-Chung Huang, Naonori Kakimura, and Naoyuki Kamiyama	4. 巻 177
2. 論文標題 Exact and Approximation Algorithms for Weighted Matroid Intersection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mathematical Programming	6. 最初と最後の頁 85-112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する



1. 著者名 Takehiro Ito, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, and Yoshio Okamoto	4. 巻 81
2. 論文標題 Minimum-Cost b-Edge Dominating Sets on Trees	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Algorithmica	6. 最初と最後の頁 343 ~ 366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00453-018-0448-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Atsushi Miyauchi and Naonori Kakimura	4. 巻 -
2. 論文標題 Finding a Dense Subgraph with Sparse Cut	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 27th ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM 2018)	6. 最初と最後の頁 547 ~ 556
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3269206.3271720	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, and Kenjiro Takazawa	4. 巻 -
2. 論文標題 The b-Branching Problem in Digraphs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The 43rd International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science (MFCS 2018)	6. 最初と最後の頁 12:1 ~ 12:15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chien-Chung Huang, Naonori Kakimura, and Yuichi Yoshida	4. 巻 81
2. 論文標題 Streaming Algorithms for Maximizing Monotone Submodular Functions under a Knapsack Constraint	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Approximation, Randomization, and Combinatorial Optimization. Algorithms and Techniques (APPROX/RANDOM 2017)	6. 最初と最後の頁 11:1-11:14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.APPROX-RANDOM.2017.11	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takehiro Ito, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi and Yoshio Okamoto	4. 巻 10392
2. 論文標題 Reconfiguration of Maximum-Weight b-Matchings in a Graph	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 COCOON2017, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 287-296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-62389-4_24	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takehiro Ito, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Yoshio Okamoto, and Taichi Shiitada	4. 巻 10739
2. 論文標題 Tight Approximability of the Server Allocation Problem for Real-Time Applications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ALGOCLLOUD2017, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 41-55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-74875-7_4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takehiro Ito, Naonori Kakimura and Yusuke Kobayashi	4. 巻 92
2. 論文標題 Complexity of the Multi-Service Center Problem	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 28th International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2017)	6. 最初と最後の頁 48:1-48:12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.ISAAC.2017.48	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 1件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Takehiro Ito, Yuni Iwamasa, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto, Kenta Ozeki
2. 発表標題 Reformist Envy-Free Item Allocations: Algorithms and Complexity
3. 学会等名 第183回情報処理学会アルゴリズム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Berczi Kristof, 垣村 尚徳, 小林 佑輔
2. 発表標題 マトロイドランク効用関数をもつ組合せ市場の価格付け
3. 学会等名 日本応用数理学会 2021年 研究部会連合発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 垣村尚徳
2. 発表標題 大規模ネットワーク解析のための組合せ最適化アルゴリズム
3. 学会等名 第32回回路とシステムワークショップ(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 垣村尚徳, Chien-Chung Huang
2. 発表標題 Improved Streaming Algorithms for Maximizing Monotone Submodular Functions under a Knapsack Constraint
3. 学会等名 情報処理学会第174回アルゴリズム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takehiro Ito, Naonori Kakimura and Yusuke Kobayashi
2. 発表標題 Complexity of the Multi-Service Center Problem
3. 学会等名 The Japanese Conference on Combinatorics and Its Applications (JCCA 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 垣村尚徳, Chien-Chung Huang,
2. 発表標題 Multi-Pass Streaming Algorithms for Monotone Submodular Function Maximization
3. 学会等名 情報処理学会第170回アルゴリズム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chien-Chung Huang, Naonori Kakimura, and Yuichi Yoshida
2. 発表標題 Streaming Submodular Maximization under a Knapsack Constraint
3. 学会等名 The 10th Japanese-Hungarian Symposium on Discrete Mathematics and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Carlson Charles, Chandrasekaran Karthekeyan, Chang Hsien-Chih, 垣村尚徳, Kolla Alexandra
2. 発表標題 対称行列の符号付けとグラフスペクトル
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年第14回研究部会連合発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<https://opt.math.keio.ac.jp/kakimura/index.html>

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

## 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

## 8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
フランス	Ecole Normale Supérieure	IRIF		
ハンガリー	Eotvos Lorand University			
ドイツ	Technical University of Munich			
米国	University of Illinois, Urbana-Champaign	University of Colorado Boulder	Boston University	他1機関